



RAPPORT LNR 4028-99

Løkken Gruber

Oppfølgende undersøkelser



Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sorlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-NIVA A/S

9015 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Løkken Gruber - Oppfølgende undersøkelser	Løpenr. (for bestilling) 4028-99	Dato Mars 1999
	Prosjektnr. Undernr. O-97122	Sider Pris 32
Forfatter(e) Rolf Tore Arnesen	Fagområde Miljøteknologi	Distribusjon
	Geografisk område Sør-Trøndelag	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Statens forurensningstilsyn	Oppdragsreferanse Grethe Braastad
--	---

Sammendrag

Et tiltak mot vannforurensning i Løkken er å føre forurenset vann gjennom gruva. I 1992/93 ble det gjennomført en undersøkelse av situasjonen etter dette tiltaket. I 1997/98 utførte NIVA en tilsvarende undersøkelse, dels for å vurdere effekten av å lede vannet gjennom gruva, dels for å vurdere hvilken situasjon som kunne oppstå dersom tiltaket av noen grunn skulle opphøre. Undersøkelsen viste at det årlig ble ført 298 tonn jern, 20 tonn kobber og 15 tonn inn i gruva, mens det i samme tidsrom ble pumpet ut 61 tonn jern, 1,1 tonn kobber og 9,5 tonn sink. Dette svarer til en reduksjon i koppermengden på ca. 95 %.

Siden 1993 har det vært liten endring i kvalitet og mengde av det vannet som føres inn i gruva. Det samme gjelder det som pumpes ut fra Wallenberg sjakt. I 1994 ble årsaken til denne reduksjonen antatt å være geokjemiske reaksjoner. Undersøkelsen i 1997/98 gir ikke grunn til å endre denne teorien. På grunn av faren for endringer i situasjonen bør overvåkingen i Løkken fortsette.

Fire norske emneord 1. Tungmetaller 2. Gruvevann 3. Kontrollundersøkelse 4. Sør-Trøndelag	Fire engelske emneord 1. Heavy metals 2. Mine water 3. Monitoring 4. Sør-Trøndelag
--	---


Rolf Tore Arnesen
Prosjektleder


Svein Stene-Johansen
Forskningsleder
ISBN 82-577-3629-5


Bente Wathne
Forskningssjef

O-97122

Løkken Gruber

Oppfølgende undersøkelser

Forord

Undersøkelsen i Løkken fra september 1997 til september 1998 ble gjennomført på oppdrag fra SFT, som dekket alle utgifter. Grethe Braastad som har vært vår kontaktperson har med sin interesse for denne type arbeid bidratt vesentlig til arbeidet i Løkken og i andre tilsvarende saker.

Montering og drift av måleutstyret i Løkken ble utført av NIVAs instrumentsentral, og prøvetaking i Wallenberg sjakt og annet feltarbeid i området ble utført av Eigil R. Iversen, NIVA.

Prøvetakingen for øvrig ble utført av Orkla Industrimuseum og Meldal kommune, og vi vil takke Rolf Gravrok i Løkken og Odd Løfshus og Ove Smedplass i Meldal for all hjelp i denne sammenheng.

Oslo, 11. mars 1999

Rolf Tore Arnesen

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Innledning	7
1.1 Bakgrunn for prosjektet	7
1.2 Geografi	8
1.3 Historikk	8
1.4 Forurensningskilder	8
1.4.1 Veltene	9
1.4.2 Gruvevannet	9
1.4.3 Avgang	10
1.5 Tiltaksplanen for Løkken	10
2. Løkken-området	11
2.1 Geologi	11
2.2 Løkken-gruva	12
Gjennom hele rapporten er dyp i gruva angitt som nivåer i forhold til et fast punkt (325,97 moh), ca. 40 meter over det nivå som bl.a. har vært utgangspunkt for prøvetaking o.l. i Wallenberg sjakt.	12
3. Resultater	14
3.1 Tidligere undersøkelser	14
3.1.1 Inn- og utgående vann i Wallenberg gruve	14
3.1.2 Wallenberg sjakt	14
3.2 Arbeidsopplegg i 1997/98	15
3.2.1 Etablering av målestasjoner	15
3.2.2 Undersøkelsesmetoder	16
3.2.3 Meteorologi	16
3.3 Resultater - kjemi	17
3.3.1 Raubekken	20
3.3.2 Wallenberg sjakt	20
3.4 Transportverdier	22
4. Diskusjon av resultater	24
4.1 Vannbalanse	24
4.2 Forurensningstransport	24
4.3 Vannkvalitet i Wallenberg sjakt	25
5. Konklusjoner	26
6. Referanser	27
Vedlegg A.	28

Sammendrag

Vannforurensning fra gruvene i Løkken har i mange år vært den viktigste forurensningskilde for Orkla. I de senere år er det gjennomført tiltak som har redusert denne forurensningen betydelig. Ett av disse tiltakene var å føre forurenset vann gjennom gruva, noe som førte til redusert tungmetallinnhold. Tiltaket ble gjennomført i 1992, og i 1992/93 ble det gjennomført en undersøkelse av situasjonen etter tiltaket (Arnesen *et al.* 1994).

I 1997/98 utførte NIVA en tilsvarende undersøkelse, dels for å vurdere effekten av å lede vannet gjennom gruva, dels for å vurdere hvilken situasjon som kunne oppstå dersom tiltaket av noen grunn skulle opphøre.

Det er tatt prøver to ganger pr. måned i ett år fra tre vannstrømmer som føres ned i gruva. Samtidig er det tatt prøver av vannet som pumpes fra 150 m dyp i Wallenberg sjakt. Det er også tatt to sett av prøver fra ulike dyp i Wallenberg sjakt.

Undersøkelsen viste at mens det i perioden september 1997 - september 1998 ble ført 298 tonn jern, 20 tonn kobber og 15 tonn inn i gruva, ble det i samme tidsrom pumpet ut 61 tonn jern, 1,1 tonn kobber og 9,5 tonn sink. Dette svarer til en reduksjon i koppermengden på ca. 95 %. Siden 1993 har det vært liten endring i kvalitet og mengde av det vannet som føres inn i gruva. Det samme gjelder det som pumpes ut fra Wallenberg sjakt.

Konklusjonen fra NIVAs undersøkelser i 1992/93 var at det var geokjemiske reaksjoner som førte til den reduserte konsentrasjonen av kobber i gruvevannet. Undersøkelsene i 1997/98 har ikke gitt grunn til å endre denne teorien.

Dersom pumping av vann fra Wallenberg sjakt av noen grunn skulle opphøre, ville transport av kobber fra Løkkenområdet øke med en faktor på ca. 2,5.

Faren for at feil eller uhell skal føre til økede utslipp fra gruveområdet er tilstede. En regelmessig overvåking av Raubekken og av vannet som pumpes ut fra Wallenberg sjakt bør fortsette, slik at eventuelle endringer i forurensningssituasjonen blir registrert.

Undersøkelsene i Wallenberg sjakt tyder på at det stort sett bare har vært beskjeden endring i vannkvaliteten i gruva. På dyp under 400 m har imidlertid kopperkonsentrasjonen økt fra mindre enn 1 til ca. 25 mg/l siden 1993. Dette bør følges opp med regelmessig prøvetaking i årene framover.

Summary

Title: The Løkken Mines, Supplementary investigations

Year: 1999

Author: Rolf Tore Arnesen

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3629-5

In 1992 measures to reduce the pollution from the mining area, were implemented in Løkken. In 1993 - 94 NIVA carried out investigations in the Wallenberg mine to study the effect of directing mine-polluted into the mine. At that time it seemed that the concentration of copper was reduced by the passage through the mine.

The investigations described in this report were conducted in the same way as those in 1993-94. The results were, as far as they can be compared, very similar, and the conclusions in the report from 1994 were confirmed.

During the period from September 1997 to September 1998, 298 tonnes of iron, 20 tonnes of copper and 15 tonnes of zinc were lead into the mine, while the water pumped from the Wallenberg shaft contained 61 tonnes of iron, 1.1 tonne of copper and 9.5 tonnes of zinc. The reduction in copper load on the recipient is about 95 %.

If the diversion of polluted water into the mine is stopped, and the water instead is lead directly to the recipient, the transport of copper from the area will increase by a factor of 2.5. It is therefore reason to carry on monitoring the water quality in the Raubekken River and in the water pumped from the mine.

1. Innledning

1.1 Bakgrunn for prosjektet

Vannforurensning fra gruvevirksomheten i Løkken har gjennom mange år påvirket Orkla og til tider Orkdalsfjorden. NIVA har fulgt disse forholdene gjennom ulike undersøkelser siden 1975, noe som tidligere er beskrevet bl. a. i en NIVA-rapport fra 1994 (Arnesen *et. al.*).

I 1992 ble den såkalte "Tiltakspakken i Løkken" gjennomført. Dette førte til en betydelig reduksjon i forurensningstransporten fra gruveområdet. Tiltaket besto i at surt drens vann fra veltene ble ført inn i gruva gjennom Gammelgruva, og pumpet ut gjennom Wallenberg sjakt for å holde et tilnærmet konstant vannivå. Det er antatt at den registrerte frobedringen i vannet som føres gjennom gruva, skyldes at forurenset vann reagerer kjemisk med mineraler (kalkspatt og pyritt). Dette er mer inngående diskutert i ovennevnte NIVA-rapport.

Etter at tiltaksplanen var gjennomført har det vært liten oppfølging av effektene og det foreligger liten informasjon om de vannstrømmene som føres inn i gruva nå.

Dette prosjektet tar sikte på å oppdatere informasjonen om vannkvaliteten i gruva, og i det vannet som føres inn i gruva, slik at konsekvensene av en endret situasjon i gruva kan vurderes. Følgende punkter skulle legges til grunn for undersøkelsesprogrammet:

- Beregning av massebalanse for forurensningskomponenter som føres inn og ut av gruva.
- Om mulig gjøres en vurdering av vannbalansen i gruva. Innstrømningen av vann til gruva er imidlertid uoversiktlig, og det vil være praktisk talt umulig å beregne den eksakt.
- Det etableres målestasjoner for kontinuerlig registrering av vannføring og konduktivitet. Data logges regelmessig, og for å kontrollere driften av stasjonene, overføres data til NIVA pr. telefon.
- Prøver av alle vannstrømmer som føres ned i gruva tas to ganger pr. måned. Tilsvarende program for prøvetaking gjennomføres for vann som pumpes fra Wallenberg gruve.

Forslag om gjennomføring av et slikt prosjekt ble sendt til SFT i mai 1997. På bakgrunn av forslaget ga SFT tilsagn om midler til gjennomføring av undersøkelsen i juni 1997.

Utslipp av vann fra Wallenberg gruve til Fagerlivatnet og sekundært til Bjørnlivatn fører til en meget synlig utfelling av jern i begge vann. De er imidlertid begge på forhånd så forurenset med tungmetaller både fra gruvevannet og fra avrenningen i området, at denne effekten neppe har betydning for biologiske forhold i sjøene. De ligger imidlertid i et relativt tettbygget område, og mange mennesker kan oppleve det som en estetisk forurensning. Betydningen av dette forhold er ikke nærmere vurdert.

1.2 Geografi

Løkken Gruber ligger i en sidedal til Orkdalen i Meldal kommune i Sør-Trøndelag, og hele området drenerer til Orkla. I tabell 1 er det samlet en del informasjon om områdets geografiske plassering, og i figur 1 finnes en kartskisse over området.

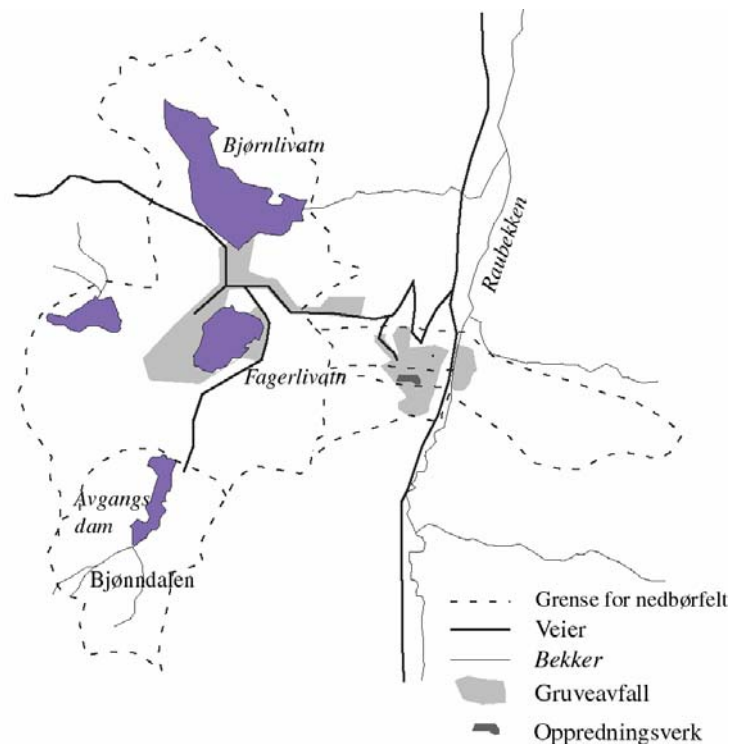
Tabell 1. Geografiske data om beliggenhet av Løkken Gruber. Karthenvisningene gjelder Serie M711.

Fylke	Kommune	Kartblad	Ruter
Sør-Trøndelag	Meldal	Løkken, 1521 III	32V NQ 3399, 3499, 3599

1.3 Historikk

Gruvedriften i Løkken startet i 1654, og frem til 1844 foregikk den på kopper, med røsting og smelting av koppermalm. I 1851 ble driften omlagt til kisdrift der kisen som ble eksportert, først og fremst var råstoff for svovelsyreproduksjon. I 1909 skjedde igjen en ny stor omlegging, der ny teknologi og nye prosesser medførte en betydelig økning av produksjonen. I perioden 1909-74 ble forskjellige oppredningsteknikker og videreforedlingsprosesser benyttet. Fra 1974 og frem til nedleggelsen i 1987 ble råmalmen oppredet ved selektiv flotasjon av kopper- og sinkkonsentrat, mens den svovelkisholdige avgangen ble deponert i dammen i Bjønndalen. De mange ulike driftsformene har alle bidratt til ulike kilder for forurensninger fra Løkken-området.

1.4 Forurensningskilder



Figur 1 Kart over Løkken-området med forurensningskilder og primærresipienter.

Forurensningssituasjonen i Løkken har gjennom tidene vært meget komplisert, med flere ulike kilder til forurensning og til tider meget høye utslipp av tungmetaller. Avløpet omfatter gruvevann, sigevann fra velter og avrenning fra avgangsdeponier. Tidligere har det i perioder også vært utslipp av avgang fra oppredningsverk. NIVA-rapport fra 1990 (Øren *et al.* 1990) gir en detaljert oversikt over forurensningskilder i området og diskuterer deres innbyrdes betydning. Den nevnte rapporten tar også opp noen aktuelle tiltak for å redusere avrenningen fra området. Figur 1 viser et kart over Løkken-området der de viktigste forurensningskildene er inntegnet.

1.4.1 Veltene

Ved undersøkelsen i 1988 - 89 ble det påvist at veltene i dalsiden mot vest var de største kildene til forurensning fra området. For kopper utgjorde de nærmere 90 % av total avrenning. Gruva var på den tiden under oppfylling med vann, og det foregikk ikke utslipp av gruvevann.

Gruveavfallet (gråbergveltene) i Løkken er spredt over et stort areal. Den største tonnasje finnes i dalsiden mot Løkken, men det ligger også store mengder rundt Fagerlivatnet i Wallenberg-området. En god del sulfidholdig avfall er også brukt som fyllmateriale på byggeplasser, i veier o.l. i hele området, noe som vises tydelig ved forurenset avrenning fra mindre områder.

1.4.2 Gruvevannet

Utviklingen i gruvevannets kvalitet er nærmere omtalt i en NIVA-rapport fra 1994 (Arnesen *et al.*) Fram til 1952 ble gruvevannet i Løkken ledet direkte til Raubekken. Dette vannet ble etter hvert meget surt og tungmetallholdig, og mengden økte gradvis inntil den i perioden 1965 - 1984 var opp mot 600 000 m³ årlig.

I begynnelsen av 50-årene ble utslipp av tungmetaller fra Løkken så stort at det ble en fare for laksefisket i Orkla. I 1952 ble det derfor bygget en rørledning til Thamshavn for transport av gruvevannet. Frem til 1962 ble dette vannet rensset ved at kopper ble felt ut, før utslipp i fjorden. Fra 1962 til oktober 1983 gikk vannet urensset ut i fjorden. Midlere sammensetning av gruvevannet på denne tiden er vist i tabell 2.

Tabell 2 Gruvevannets sammensetning. Middelerdi av analyser utført av Løkken Gruber 1961 - 75

Komponent	Enhet	Verdi
pH		2.3
Kopper	mg Cu/l	530
Sink	mg Zn/l	870
Jern	mg Fe/l	1529
Vannmengde	m ³ /år	500,000

I perioden fra oktober 1983 til mai 1992 var det ikke utslipp av gruvevann fra Wallenberg gruve. Etter at utpumping av gruvevann startet, er dette igjen blitt en forurensningskilde.

Den største andelen av gruvevann kommer fra Wallenberg gruve. Fra oktober 1983 til august 1987 ble vannet Astrup gruve pumpet til Wallenberg gruve. Mengdemessig utgjorde dette 5 - 10 % av den i

Wallenberg. I en periode var det ikke pumping av gruvevann fra Astrup gruve, slik at det foregikk en vannfylling også her. Nå foregår det på ny pumping av vann fra Astrup til Wallenberg gruve. Ansvarlig for dette er i dag NAD (Norwegian Ammunition Disposal Company) som destruerer eksplosiver bl.a. for Forsvaret. Vannmengden som pumpes varierer en del, men i måleperioden som er rapportert her, var den ca. 30 000 m³. Dette er nærmere omtalt forbindelse med den gjennomførte undersøkelsen.

1.4.3 Avgang

Da man startet med selektiv flotasjon i Løkken i 1974, ble det samtidig bygget en dam for deponering av avgang i Bjønndalen. (figur 1). Dammen ble bygget tett med sikte på å skape et vannspeil over avgangen. Avgangsdeponiet i Løkken er det eneste i Norge, kanskje i verden, der det er deponert avgang med høyt innhold av svovel under vann, uten at annen gruveforurensning påvirker deponiet. I dammen, som har et areal på 0,043 km², er det lagret ca. 3,25 mill. tonn avgang med en midlere sammensetning på 36.3% S, 0,24 % Cu og 0,32 % Zn.

Deponeringen opphørte da driften ble nedlagt i 1987. Tilrenningen av vann til dammen ble da bare naturlig tilsig fra et praktisk talt upåvirket nedbørfelt.

Forurensningsmengden som i dag transporteres ut av avgangsdeponiet er ubetydelig i forhold til andre kilder i Løkken og har vært mindre enn 0,5 % av den samlede forurensningstransport ut av Løkkenområdet.

Den fremtidige utviklingen i deponiet er vurdert i en NIVA-rapport fra 1993 (Arnesen). Resultatene fra denne rapporten er dessuten presentert på en internasjonal konferanse (Arnesen et al. 1997).

På østsiden av Raubekken i Løkken ligger en liten avgangsdam som opprinnelig ble anlagt i 1912 - 15, men som senere har mottatt finstoff fra oppredningsprosesser fram til 1974. Det er ikke gjort nærmere undersøkelser av dette deponiet, men den forurensningsmessige betydningen er etter alt å dømme beskjeden.

1.5 Tiltaksplanen for Løkken

De mest omfattende og målrettede tiltakene mot forurensning ble gjennomført etter at driften var nedlagt, da tiltaksplanen for Løkken-området (Løkken Gruber A/S & Co 1991) ble gjennomført i 1992. På bakgrunn av den store reduksjonen i kopperkonsentrasjonen som ble påvist ved NIVAs prøvetakinger i Wallenberg sjakt, lanserte Løkken Gruber i 1991 Wallenberg gruve som "renseanlegg" for det forurensede vannet fra Løkken i en tiltaksplan for området. Dette innebar at en betydelig andel av avrenningen fra veltene ble samlet opp i dype drengrofter mellom Raubekken og veltene. Det oppsamlede vannet ble pumpet inn i Gammelgruva, samtidig som drengvann fra veltene høyere oppe ble ført til samme området i gruva. Gruvevannet ble pumpet ut fra Wallenberg sjakt. Pumping av vann fra gruva startet i april 1992, mens overføring av vann fra veltene til Gammelgruva skjedde mer gradvis. Pumping av drengvann som var det siste leddet i denne prosessen, startet i august 1992.

NIVA hadde ca. ett år tidligere lagt frem en rapport (Øren *et al.* 1990) med tre forslag til mulige tiltak i Løkken-området, men den ovennevnte løsningen inngikk ikke her. På den tiden tiltaksplanen ble fremlagt, var årsaken til den gunstige utviklingen i vannkvaliteten ikke klarlagt.

Forslaget vedrørende pumping av gruvevann fra Wallenberg og overføring av sigevann til Gammelgruva ble gjennomført i 1992. Pumpe for gruvevann ble da montert på ca. 150 m dyp i Wallenberg sjakt, og vannet ble pumpet direkte til Fagerlivatnet.

2. Løkken-området

2.1 Geologi

Malmforekomsten på Løkken var opprinnelig på omtrent 30 millioner tonn, og var den største sink-kopper-sulfidmalmen som er funnet i Norge til nå. Den hadde et "utgående", den kommer opp til overflaten, i dalsiden vest for Løkken sentrum. Slik var det mulig å oppdage malmen så tidlig som i 1654, uten hjelp av moderne malmletingsverktøy.

Malmen består hovedsaklig av svovelkis med varierende innhold av kopperkis og sinkblende og spesielt forholdet mellom kopper og sink varierte mye. Det var lavt innhold av sink i kopperrik malm og omvendt

Gruva har flere åpninger i øst i dalsiden mot Løkken. Midt i gruveområdet ligger Wallenberg sjakt som er en loddssjakt som går ned til ca. 450 m.

Mot vest fortsetter gruva i dypet, og i 1972 ble Astrup sjakt, som går ned til ca. 1000 m, åpnet. Da malmreservene etter hvert tok slutt i Wallenberg gruve, ble denne delen av gruva skilt fra virksomheten i Astrup med betongpropper. All virksomhet i Wallenberg ble lagt ned og gruva ble forlatt slik at pumping av vann sluttet 10. oktober 1983.

Malmen er omgitt av grønnstein og horisonter av jaspis og vasskis. Begge de to sistnevnte består hovedsaklig av kvarts (SiO_2). Grønnsteinen er den bergartstypen som opptrer med langt de største volumer. Denne finnes både over og under malmen og altså over hele Løkkenområdet.

Det er vanskelig å anslå noen gjennomsnittsgehalt for grønnsteiner som kommer i kontakt med gruvevannet. I tabell 3 mineralogisk- og kjemisk sammensetning for en "normal" grønnstein vist.

Tabell 3 Eksempel på en "normal" grønnstein, av den typen som opptrer i ligg (under malmen). Volumprosent er bestemt ved mikroskopering av tynnslip.
(Å. Bollingmo, diplom NTH 1980)

Mineral	Vol %	Kjemisk formel
Epidot	30	$\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$
Kloritt	30	$(\text{Mg, Fe, Al})_6(\text{Si, Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
Karbonat	10	CaCO_3
Plagioklas	10	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
Amfibol	20	Gruppe mineraler med kompleks kjemisk formel, utstrakt utbytting av atomer i krystallgitteret. Silikater med OH-gruppe tilknyttet krystallgitteret.

Av tabell 3 framgår det at grønnsteinen rundt Løkken-malmen inneholder basiske mineraler, bl.a. kalkspatt (kalsiumkarbonat).

2.2 Løkken-gruva

Gjennom hele rapporten er dyp i gruva angitt som nivåer i forhold til et fast punkt (325,97 moh), ca. 40 meter over det nivå som bl.a. har vært utgangspunkt for prøvetaking o.l. i Wallenberg sjakt.

Dette er i overensstemmelse med den referanse Løkken Gruber har benyttet i planer, oversikter og beskrivelser.

Totalt har gruva en lengde på ca. 4 km og største dyp er ca. 1000 m i Astrup sjakt. I den delen av gruva som er omtalt i den foreliggende rapport, er største dyp noe over 450 m. Under arbeidet i Wallenberg sjakt har NIVA tatt prøver ned til nivå 490.

Malmen faller 30 grader mot nord og lengdeaksen har en stupning på 10 - 20 grader mot vest.

Gruva er åpnet i øst med en horisontal stoll i Gammelgruva på nivå 120, Gammelsjakta som går i lodd ned til nivå 300 og Fearnley sjakt, som er en 45° skråsjakt til nivå 300. Midt i gruveområdet ligger Wallenberg sjakt som er en loddsjakt som går ned under nivå 480.

Tabell 4 viser hvilke hovednivåer som finnes i Wallenberg gruve og på hvilke dyp det finnes kommunikasjon mellom ulike deler av gruva.

Tabell 4 Hovednivåer i Wallenberg gruve. x betegner at dypet eksisterer og evt. at det er kommunikasjon

Nivå	Wallenberg sjakt	Fearnley sjakt	Kommunikasjon Wallenberg - Fearnley
120		x	
170	x	x	x (ras)
200	x	x	x (ras)
250	x	x	
300	x	x	x
380	x		
430	x		

Malmen ble i hovedsak brutt ved magasinbrytning. Det vil si at det ble drevet ut brytningsrom helt fra heng (overkant av malm) til ligg (underkant av malm) på tvers av malmlinsen og med rombredde på 18 m (i malmlinsens lengderetning). Pilarer 9 meter ble så satt igjen mot neste brytningsrom, slik at 1/3 av malmen ble stående igjen i pilarer som skulle stabilisere gruva.

Når magasinene var tømt, ble pilarene fjernet for å få en bedre utvinning av forekomsten. Denne pilarbrytningen ble drevet i så stor utstrekning at gråberget over malmen begynte å gå i ras. Etter hvert ble store deler av brytningsrommene i Wallenberg fylt med rasberg, noe som antakelig har stor betydning for gruvevannets kvalitet i dag.

Hovednivå 200 raste ut i totalt ca. 100 m lengde allerede i 1937 og senere i 1946. Dette vil i praksis si at mellom Fearnley og Wallenberg er nivå 200 rast sammen og har ikke åpen forbindelse. Det må likevel antas at vann fra den østlige del av gruva kan nå frem til Wallenberg sjakt gjennom noen av disse rasområdene.

Nivå 170 raste ned i mot hovedmalmstrossene mellom lenger øst høsten 1971. I den forbindelse ble det kjørt store mengder gråberg ned i gruva og fylt i strossene ved siden av rasområder for å unngå at raset spredte seg videre. Det vil si at det også i dette området er mange brytningsrom oppfylt med gråberg. Disse gruverommene fylt med gråberg kan være reaktorer der gruvevannet får god kontakt med store flater av gråberg.

Vest for Wallenberg sjakt er også store områder med gråberg rast inn fra hengfjellet, slik at også dette området kan oppfattes som en enorm reaktor, fylt med grønnstein.

Det eneste hovednivå med direkte forbindelse mellom Fearnley sjakt og Wallenberg sjakt, hvor det ikke er rast inn gråberg er nivå 300.

To viktige forhold vedrørende gruverommene kan trekkes frem:

1. 50 - 70 % av gruverommene i Wallenberg gruve er fylt av innrast gråberg, slik at store deler av gruva kan betraktes som en reaktor med grønnstein.
2. Det innraste gråberget ligger mange steder i rasvinkel for tørr stein i luft. Ved vannfylling av gruva endrer stabiliteten av det innraste materialet seg så mye at det sannsynligvis har skjedd undersjøiske ras, som kan ha forstyrret vannstrømmer og virvlet opp slam.

3. Resultater

3.1 Tidligere undersøkelser

3.1.1 Inn- og utgående vann i Wallenberg gruve

Mens Wallenberg gruve var under oppfylling med vann, ble vannkvaliteten i gruva overvåket ved at NIVA tok regelmessige prøver i Wallenberg sjakt. I forbindelse med "Tiltaksplanen", tok NIVA vannprøver i gruva samtidig som tilgjengelige vannstrømmer inn i gruva ble undersøkt etter et program som i hovedsak var som for den foreliggende undersøkelsen. Dette arbeidet ble rapportert i 1994 (Arnesen *et al*). Dessuten er det presentert på en internasjonal konferanse i 1997 (Arnesen *et al.*)

Fra pumpingen fra Wallenberg sjakt startet i april 1992 er det tatt vannprøver av utpumpet vann. I tillegg er pumpet mengde registrert på grunnlag av driftstid på pumpen. Prøvetakingsfrekvensen har variert en del i tiden siden 1992, og en stor del av disse resultatne er ikke offentliggjort i rapporter e.l. Resultatene av prøvetakingene i Wallenberg sjakt under oppfyllingen og i 1992/93, finnes i den tidligere nevnte rapporten fra 1994.

I tabell 6 finnes middelverdier for prøver av vann som er pumpet fra Wallenberg sjakt i perioden fra april 1992 til november 1993.

Fra desember 1992 ut august 1993 ble det også tatt vannprøver av det vannet som ble ført inn i gruva fra øst. Dette gjelder følgende vannstrømmer:

- A. Drensvann fra grøft, mellom velter og Raubekken. Vannet pumpes fra dalbunnen.
- B. Vann fra drengrøft under nordre tipp.
- C. Gruvevann fra deler av Gammelgruva.

De tre ovennevnte vanntypene føres frem i Gammelgruva og ledes ned gjennom "Stollsynken". I det følgende er prøvetakingsstedene i Gammelgruva for disse vannstrømmene kalt henholdsvis St. A, St. B og St. C. Middelverdier for disse resultatene er sammen med tilsvarende verdier fra den foreliggende undersøkelsen samlet i tabellene 6.

I tillegg til de ovennevnte vannstrømmene foregår det også et innsig av vann som ikke fanges opp i det eksisterende drenssystemet i gammelgruva. Dette vannet vil derfor ikke inngå i det som i det følgende er kalt gruvevann fra Gammelgruva.

3.1.2 Wallenberg sjakt

Da gruvevannet ikke lenger ble samlet opp og pumpet ut kontinuerlig, ble det, etter hvert som vannstanden i gruva steg, inhomogent. Tetthetsforskjeller førte til lagdeling av vannet i sjakten, og prøver som ble tatt ut, hadde derfor en helt annen sammensetning enn det opprinnelige gruvevannet. Direkte sammenlikninger av vannkvalitet fra før vannfyllingen startet er derfor umulig, og å karakterisere endringer i vannkvaliteten i løpet av oppfyllingen kvantitativt er også vanskelig.

Som tidligere omtalt, ble det fra 1983 til 1987 årlig pumpet ca 55.000 m³ vann fra Astrup gruve til Wallenberg gruve. Frem til høsten 1989 fortsatte pumpingen, men mengden var da redusert til ca. 35.000 m³/år. Mengden av vann som nå årlig pumpes til Wallenberg gruve fra Astrup varierer, men var i undersøkelsesperioden ca. 30 000 m³.

I forhold til den totale vanntilførselen har vannmengden fra Astrup hele tiden vært så liten (< 10 % av total) at den antakelig gir lite utslag i den generelle vannkvaliteten i Wallenberg sjakt. Lokalt i det dyp utslippet foregår kan dette imidlertid ha betydning.

I forhold til det vannet som stort sett fantes i Wallenberg sjakt i denne tiden, ville vannet fra Astrup gruve hatt lavere pH og høyere konsentrasjoner spesielt av kopper og kadmium enn det som fantes i tilsvarende dyp i Wallenberg gruve.

3.2 Arbeidsopplegg i 1997/98

3.2.1 Etablering av målestasjoner

Undersøkelsen ble gjennomført ved at det ble etablert stasjoner for registrering av vannføring, og det regelmessig uttak av vannprøver gjennom et år. Fra pumpestasjonen i Stallgata i Løkken pumpes grunnvann inn i Gammelgruva. Prøver fra denne vannstrømmen ble tatt 2 ganger pr. uke, samtidig som pumpet vannmengde ble registrert. Dette arbeidet ble utført av Meldal kommune. I Gammelgruva ved Stollsynken ble det etablert to målepunkter, ett for vannet som ledes inn fra Nordvelten på oversiden av gruva, og ett for dreneringsgrøfta inne i gruva. Begge steder ble det montert V-overløp, for kontinuerlig vannføringsmåling og kontinuerlig registrering av vannets konduktivitet. Prøvetakingen som ble utført to ganger pr. måned, ble gjennomført av Orkla Industrimuseum i Løkken. Videre ble det tatt to prøver pr. måned av vannet som pumpes ut av Wallenberg sjakt. Også her ble arbeidet utført av Meldal kommune,

Etablering av målestasjonene i Løkken-området ble i stor grad gjort etter mønster av stasjonene som ble brukt ved tilsvarende undersøkelser i 1992 - 93. Dette innebar at vannet som ble pumpet Stallgata ble "Stasjon A", målekassen for vannet fra Nordre velte fikk betegnelsen "Stasjon B" og drenggrøften i Gammelgruva fikk betegnelsen "Stasjon C". Prøvene fra Wallenberg sjakt ble betegnet "Wallenberg".

Vannføring og konduktivitet ble registrert kontinuerlig i målepunktene i Gammelgruva og data ble regelmessig overført til NIVA pr. telefon.

Som tidligere nevnt ble det også etablert et målepunkter for temperatur og nedbør nær inngangen til Gammelgruva for å overvåke de meteorologiske forhold i området. På grunn av tekniske problemer ble ikke disse målingene tilfredsstillende. Det er nærmere omtalt i kapittel 3.2.3 Meteorologi.

Punkter for automatiske målinger og innsamling av vannprøver ble etablert tidlig i september 1997, og måleprogrammet løp over ett år.

I oktober 1997 og mars -98 ble det også tatt vannprøver fra 8 dyp i Wallenberg sjakt.

3.2.2 Undersøkellesmetoder

Vannprøvene som ble tatt i forbindelse med den aktuelle undersøkelsen, ble analysert etter programmet som er vist i tabell 6.

Tabell.6 Kjemisk analyseprogram for vannprøvene som er samlet inn ved undersøkelsene i Løkken 1997/98.

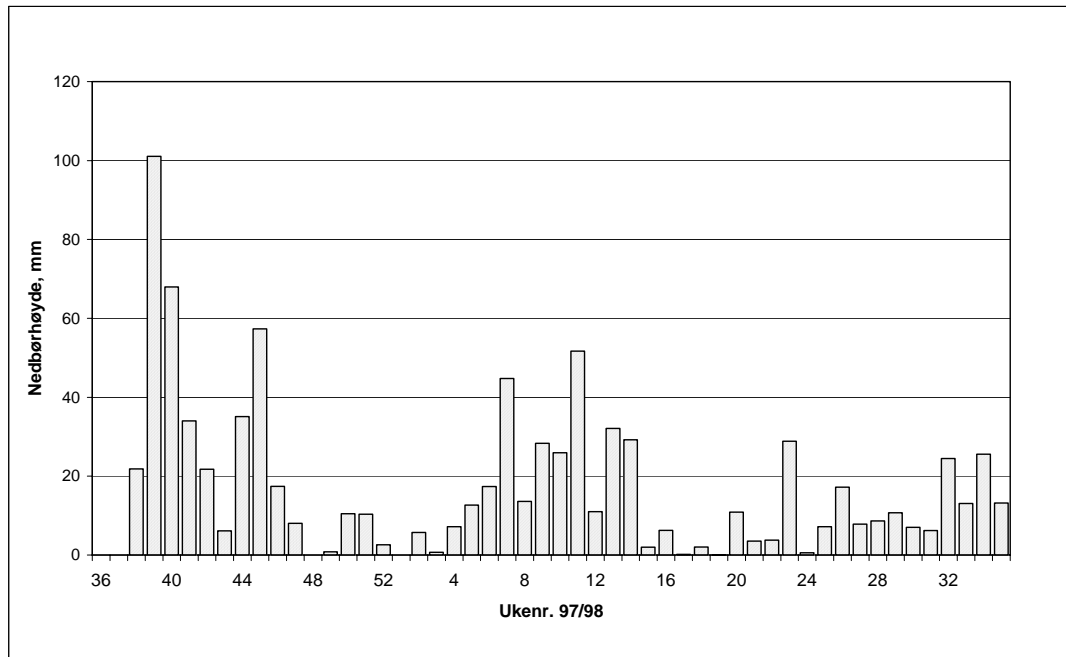
Komponent	Metode	Komponent	Metode
pH	pH-meter	Totalt jern	ICP
Konduktivitet	Elektrometr.	Kopper	ICP
Sulfat	ICP	Sink	ICP
Kalsium	ICP	Kadmium	ICP
Magnesium	ICP	Silisium	ICP
Aluminium	ICP	Bly	ICP

Ved den forrige undersøkelsene ble også toverdige jern, mangan, kobolt, nikkel, titan, vanadium, krom, barium og arsen bestemt på noen prøver.

3.2.3 Meteorologi

Ved vurdering av vannbalansen i gruva, er det av stor betydning å ha meteorologiske data fra området. Det ble derfor etablert en målestasjon for temperatur og nedbør ved Gammelgruva i Løkken. Tekniske problemer førte til at disse måleseriene ble ufullstendige. I tillegg ga nedbørmålingene åpenbart for lave resultater. Det norske meteorologiske institutt (DMI) har en målestasjon ved Hoston, som ligger på motsatt side av Orkla, ca. 10 km nordvest for Løkken. De meteorologiske forholdene endrer seg betydelig selv over korte avstander i dette området. Spesielt avtar årlig nedbør sterkt fra vest mot øst. Ut fra kart over årsnedbør i Nasjonalatlas for Norge (Førland 1993) ble normal nedbør for Løkken anslått til 700 mm pr. år, mot 1045 ved Hoston. Lineær regresjonsanalyse for ukentlige nedbørhøyder ut fra NIVAs (Løkken) og DMIs (Hoston) viser en signifikant korrelasjon mellom disse dataseriene. På grunnlag av verdiene ved Hoston er nedbørhøyde for tilsvarende uke anslått i Løkken. Figur 2 viser disse ukentlige verdiene i Løkken grafisk.

Perioden fra september 1997 - september 1998 var nedbørrik og nedbørmengden ved Hoston er angitt til 1360 mm, som tilsvarer 865 mm i Løkken. (Ca. 30 % over normalverdien).



Figur 2 Ukentlige nedbørshøyder i Løkken 1997/98. Verdiene er anslått ut fra tilsvarende verdier ved Hoston (DMI) i samme periode.

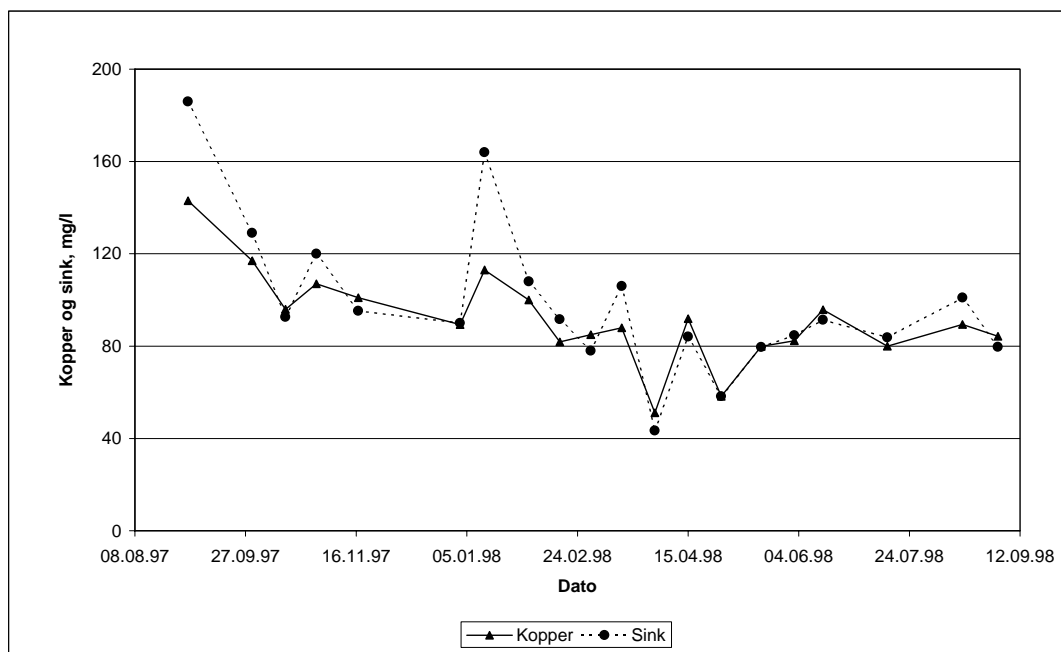
Forøvrig var målsetning og opplegg ved den foreliggende undersøkelsen i stor grad som i den tidligere undersøkelsen.

3.3 Resultater - kjemi

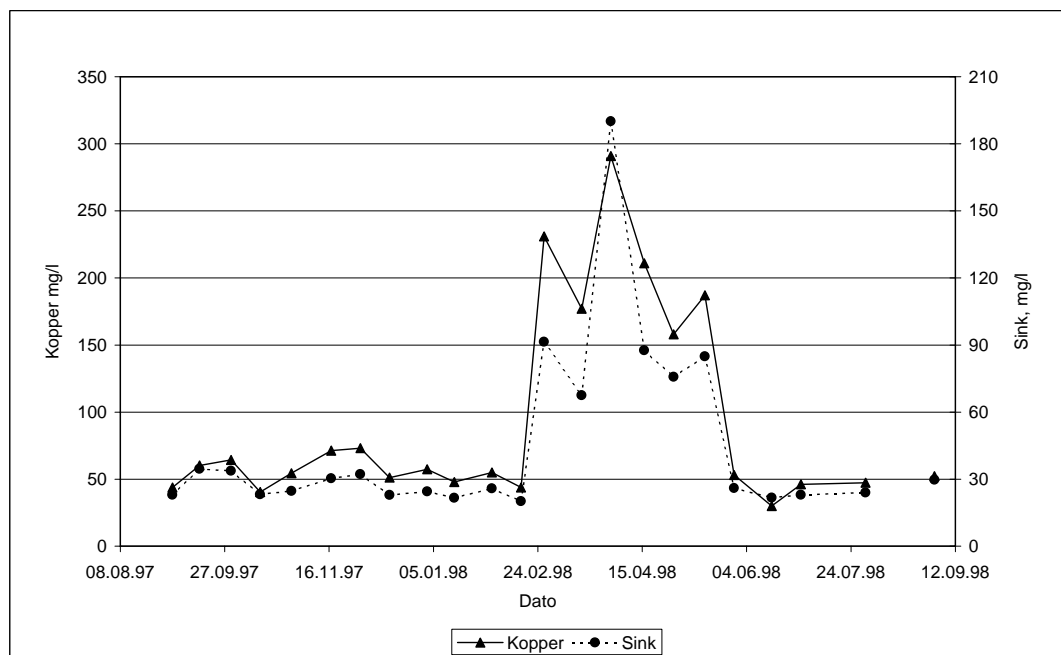
Tabell 6 Middelverdier for kjemiske parametre ved målepunktene ved undersøkelsene i 1992/93 og 1997/98.

Stasjon	pH	Konduktivitet mS/m	Sulfat mg/l	Jern mg/l	Kopper mg/l	Sink mg/l	Kadmium mg/l
Stasjon A							
1992/93	2,53		4783	818	93	97	0,37
1997/98	2,50	486	4921	786	92	98	0,40
Stasjon B							
1992/93	2,38		6663	1740	80,3	40,6	0,19
1997/98	2,36	613	7817	2049	93	45	0,26
Stasjon C							
1992/93	2,45		17108	4119	309	252	0,88
1997/98	2,47	928	14964	3068	239	198	0,77
Wallenberg							
1992/93	5,42		2282	106	3,8	27,1	0,05
1997/98	6,23	233	1485	91	1,6	14	0,03

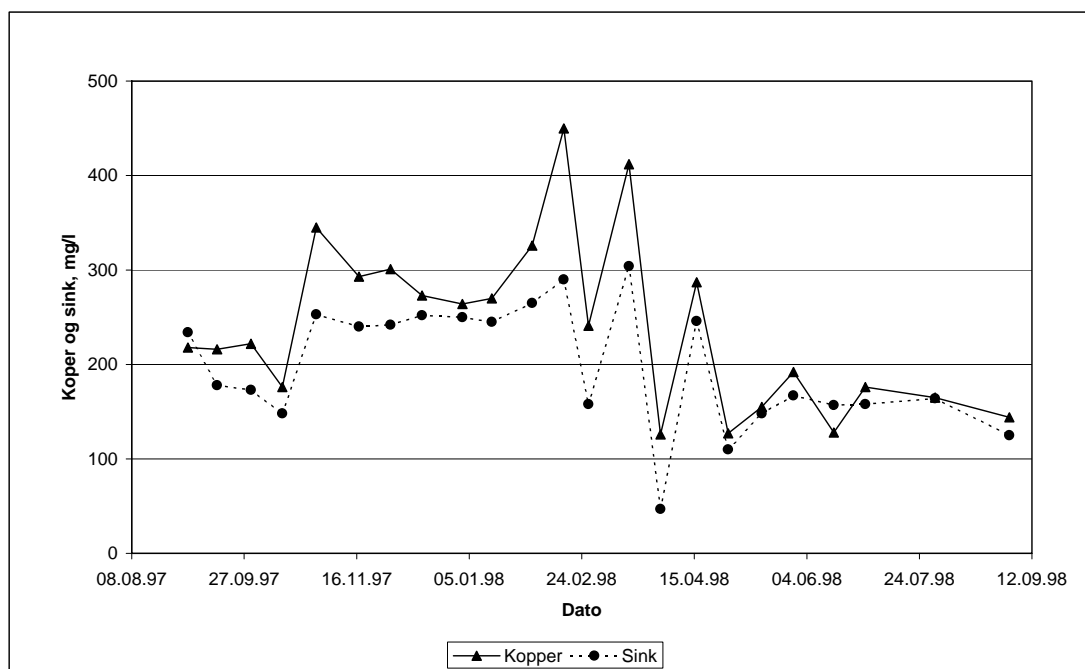
Middelverdier for konsentrasjonene som ble registrert i de to undersøkelsesperiodene er samlet i tabell 6. Enkeltverdiene finnes i tabellene 13 - 16 i vedlegg A. Enkeltverdier fra den siste perioden finnes i tabellene 13 - 16 i vedlegg A, og er fremstilt grafisk i figurene 3 - 6.



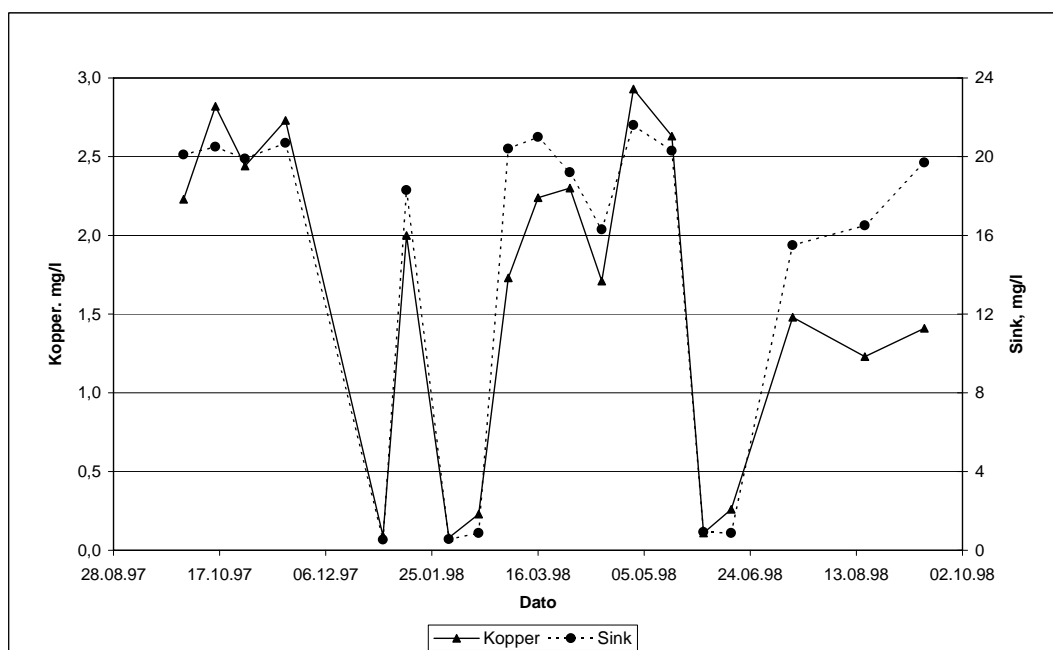
Figur 3 Analyseresultater for kopper og sink i vann som pumpes fra drengroft.. Stallgata, Løkken, september 1997 - september 1998



Figur 4 Analyseresultater for kopper og sink i sigevann fra Nordre velte. Løkken, september 1997 - september 1998.



Figur 5 Analyseresultater for kopper og sink i vann fra drensrøft i Gammelgruva. Løkken, september 1997 - september 1998.



Figur 6 Analyseresultater for kopper og sink i vann pumpet fra Wallenberg gruve. Løkken, september 1997 - september 1998.

3.3.1 Raubekken

Undersøkellesprogrammet omfattet ikke målinger i Raubekken. Innenfor overvåkingsprogrammet for Orkla ble det imidlertid tatt prøver fra innløpet til kraftstasjonen. Data fra undersøkelsene i 1992/93 og fra 1997/98 finnes som middelverdier i tabell 7.

Tabell 7 Middelverdier for analysedata fra Raubekken, Løkken i de to undersøkelsesperiodene.

Periode	pH	Konduktivitet mS/m	Sulfat mg/l	Jern mg/l	Kopper mg/l	Sink mg/l	Kadmium µg/l
1992/93	5,7	35,9	121,0	5,4	0,73	1,66	4,3
1997/98	4,6	40,2	162,5	10,7	1,00	2,90	5,7

3.3.2 Wallenberg sjakt

Analyseresultatene for de vannprøvene som ble tatt i Wallenberg sjakt i oktober 1997 og mars 1998 er samlet i tabell 8. Til sammenlikning er tilsvarende data for prøver tatt i 1993 og -95 listet i samme tabell. Resultatene er gruppert etter dyp, slik at endringer i vannkvaliteten kan sees direkte i tabellen.

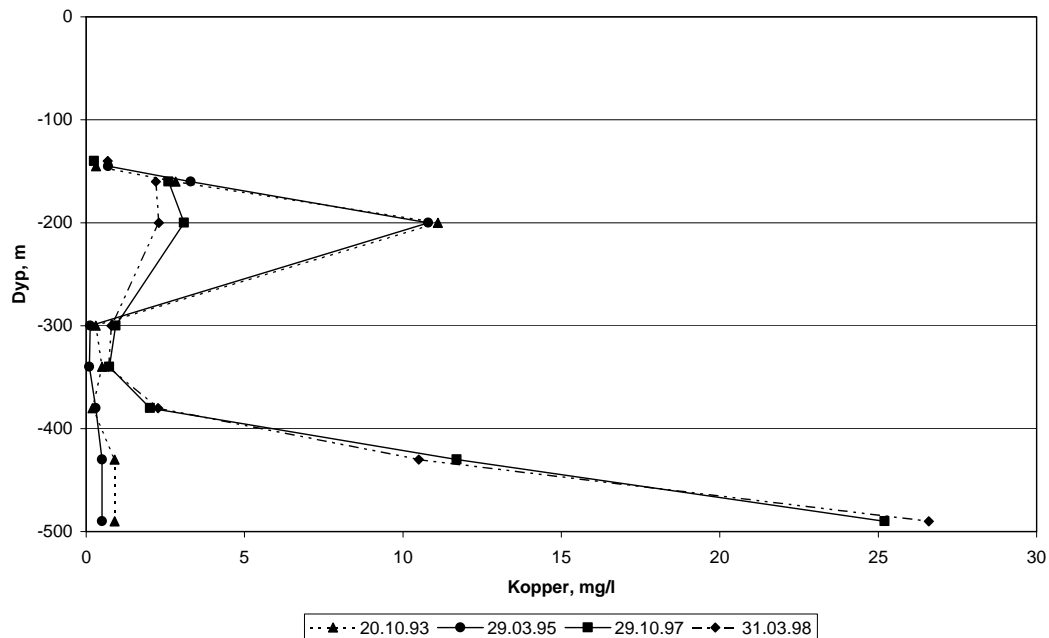
Tabell 8 Analyseresultater for prøver tatt i Wallenberg sjakt. Vannet pumpes ut fra nivå 150.

Dato	Dyp m	pH	Konduktivitet mS/m	Sulfat mg/l	Jern mg/l	Kopper mg/l	Sink mg/l	Kadmium mg/l
20.10.93	140	7,02	82,3	323	1,8	0,31	1,3	
29.03.95	146	5,88	87	344	2,9	0,7	2,5	< 40
29.10.97	145	6,97	89,9	338	1,64	0,25	1,5	10
31.03.98	145	6,68	84,8	320	3,56	0,68	2,4	12
20.10.93	160	6,01	339	2401	105	2,82	20,1	
29.03.95	160	5,53	344	2246	100	3,3	20	< 40
29.10.97	160	5,97	343	2135	132	2,6	19,9	40
31.03.98	160	5,92	344	1847	121	2,2	18,7	30
20.10.93	200	5,16	366	3024	173	11,1	38,1	
29.03.95	200	4,58	384	2814	164	10,8	35,3	< 40
29.10.97	200	5,88	362	2389	155	3,09	23,2	40
31.03.98	200	5,96	348	1877	130	2,29	19,9	30
20.10.93	300	6,22	529	3952	76,4	0,3	3,7	
29.03.95	300	5,73	589	3832	70,5	0,13	2,1	< 40
29.10.97	300	6,07	584	3772	66	0,93	2,5	3,8
31.03.98	300	6,07	601	3293	53,2	0,8	2,2	3,1
20.10.93	340	6,13	568	4850	150	0,5	5,4	
29.03.95	340	5,80	656	4521	39,8	0,1	2,5	< 40
29.10.97	340	5,99	671	4281	158	0,73	2,7	35
31.03.98	340	5,98	629	3653	132	0,71	3,4	5,3

Tabell 8 (Fortsatt) Analyseresultater for prøver tatt i Wallenberg sjakt. Vannet pumpes ut fra nivå 150.

Dato	Dyp	pH	Konduk- tivitet	Sulfat	Jern	Kopper	Sink	Kad- mium
	m		mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
20.10.93	380	5,63	445	9940	1670	0,2	153	
29.03.95	380	5,22	1214	13354	2780	0,3	202	> 40
29.10.97	380	5,69	999	9042	1440	2,02	36,4	75
31.03.98	380	5,66	1111	9401	1810	2,27	44,8	70
20.10.93	430	4,92	1508	49700	18800	0,9	2820	600
29.03.95	430	4,77	2890	47305	16500	< 1	2360	< 40
29.10.97	430	5,16	2840	41377	15820	11,7	2040	590
31.03.98	430	5,23	2680	35928	12700	10,5	1810	600
20.10.93	490	4,36	1688	64370	25400	0,9	3680	910
29.03.95	490	4,06	3440	64071	23000	< 1	3320	< 100
29.10.97	490	4,52	3370	57814	23520	25,2	3190	810
31.03.98	490	4,55	3510	57186	21400	26,6	3090	810
Prøver av vann pumpet fra Wallenberg								
29.10.97	ca. 150	5,93	335	2030	128	2,44	19,9	0,03
31.03.98	ca. 150	5,94	341	1811	125	2,30	19,2	0,03

Tilsvarende data for kopper er presentert grafisk i figur 7.



Figur 7. Kopperkonsentrasjonen i Wallenberg sjakt som funksjon av prøvedyp ved de to prøvetakingene i undersøkelsesperioden sammenliknet med prøver tatt i 1993 og -95.

Tidligere prøvetakinger er omfattende vurdert i vår rapport fra 1994 (Arnesen *et al.*) og vil ikke bli referert her.

Både i 1997/98 og ved de to foregående prøvetakingene var det god overensstemmelse mellom vannkvaliteten på nivå 140 - 160 og i vannet som var pumpet ut av sjakten. Kopperkonsentrasjonen har dessuten variert lite over tid på dette nivået.

Bortsett fra på nivå 200 var konsentrasjonen av kopper relativt lav ned til ca. 380 m i alle prøver. I prøver tatt dypere var det betydelig økning i konsentrasjonen av kopper fra prøvetakingene i 1993 og - 95 til 1997/98.

Vannet som ble pumpet inn i Wallenberg gruve i 1997/98 hadde en gjennomsnittlig sammensetning som vist i tabell 9.

Tabell. 9 Gruvevann fra Astrup sjakt som pumpes til Wallenberg gruve. Årsgjennomsnitt for 1997/98.

pH	Kond mS/m	Sulfat mg/l	Jern mg/l	Kopper mg/l	Sink mg/l	Kadmium mg/l
3,73	238	1629	134	43	101	0,28

3.4 Transportverdier

Et forsøk på å sette opp en massebalanse for gruva er gjort ved å beregne transport av sulfat, jern, kopper, sink og kadmium inn og ut av gruva. Dette er gjort ved å tilordne målte konsentrasjoner til middelveier for to og to uker med vannføring, fordi prøvetakingen stort sett har foregått hver annen uke, og mengder av pumpet vann er oppgitt ukentlig.

Tabell 10 Beregnede transportverdier for sulfat, jern, kopper, sink og kadmium ved målestasjonene som ble benyttet ved undersøkelsen. Betydningen av de ulike verdiene er nærmere omtalt i teksten.

	Vann- mengde m ³	Sulfat tonn/år	Jern tonn/år	Kopper tonn/år	Sink tonn/år	Kadmium kg/år
Stasjon A.	72497	354	58	6,2	6,3	25,6
Stasjon B	93131	580	151	7,3	3,7	18,7
Stasjon C	32354	423	89	6,7	5,3	20,2
Sum inn	197982	1358	298	20	15	64
Wallenberg sjakt	635734	976	61	1,1	9,5	16,3
Undersøkelsen i 1993						
Stasjon A.	48900	290	52	5,9	5,9	
Stasjon B	52600	319	83	3,9	2,0	
Stasjon C	18200	278	65	5,0	4,0	
Sum inn	119700	887	200	14,8	11,9	
Wallenberg sjakt	925500	939	42	2,1	10,2	

Beregnete transporter av sulfat, jern, kopper, sink og kadmium ved undersøkelsen i 1997/98 er samlet i tabell 10. Til sammenlikning er verdiene som ble beregnet ved undersøkelsene i 1992/93 også ført opp. De to undersøkelsene kan ikke sammenliknes direkte, fordi måleperiodenes lengde var forskjellige. Fordi undersøkelsen i 1992/93 ikke strakte seg over et helt år for inngående vann, er sammenlikningsgrunnlaget for disse verdiene spesielt dårlig.

I tillegg til transportverdiene i tabell 10 har det også interesse å se på den samlede transport av forurensninger ut av området. Målepunktet som gjennom mange år har representert denne verdien er Raubekken ved innløpet til kraftstasjonen. I tabell 11 finnes disse transportverdiene for sulfat, jern, kopper, sink og kadmium fra den foreliggende undersøkelsen. Det er stor tidsforsinkelse mellom vannet som prøvetas i henholdsvis innløpet til Gammelgruva, pumpestasjonen i Wallenberg og endelig i Raubekken ved innløpet til kraftstasjonen. Situasjonen i Løkken synes likevel så stabil at det kan være av interesse å sammenlikne resultater fra disse målepunktene. De angitte transportverdiene for 1992/93 er beregnet som et middel av data for de to årene, og ikke reelt for undersøkelsesperioden den gang.

Tabell 11 Transport av forurensninger i Raubekken ved de to omtalte undersøkelsesperiodene i Løkken.

Periode	Sulfat tonn/år	Jern tonn/år	Kopper tonn/år	Sink tonn/år	Kadmium kg/år
1992/93	4097	234	15	72	173
1997/98	3230	114	13	40	95

4. Diskusjon av resultater

4.1 Vannbalanse

Det viste seg å være vanskelig å få gode meteorologiske observasjoner med det utstyret vi hadde tilgjengelig. Det er derfor ikke gjort forsøk på en kvantitativ vurdering av vannbalansen i gruva. Vannmengden som er registrert inn i gruva er mindre enn 30 % av det som er pumpet ut i måleperioden. Samtidig var sulfatmengden inn ca. 40 % høyere enn den som er pumpet ut. Sulfat kan felles ut som gips, og under reduserende betingelser kan det også dannes sulfid som i så fall bindes til tungmetaller.

4.2 Forurensningstransport

Den store forskjellen mellom utpumpet vann i forhold til det som er registrert inn, sammenholdt med tilsvarende differanser i mengde forurensninger inn og ut, kan indikere at en stor del av vannet som gikk inn i gruva "uregistrert", var lite forurenset. Det er ikke urimelig, når en ser på det området sin naturlige drenering til Wallenberg gruve. Bare lokalt rundt Fagerlivatnet, gjennom det gamle dagbruddet ovenfor flotasjonsverket og fra noen mindre dreneringer i dalsiden mot Løkken, er det sannsynlig at det renner inn vann som inneholder forurensninger av betydning. I rasområdet rundt Wallenberg sjakt blir vannet antakelig lite forurenset på vei ned i gruva.

Transporten av alle de registrerte parametre er høyere inn enn ut. Dette gjelder spesielt kopper der forskjellen mellom det som er registrert ut er mer enn 90 % lavere enn det som er målt inn. For kadmium og jern er forskjellen også stor, mens den for sink bare er 37 %. Det er noe overraskende at også sinkmengden reduseres ved passasje gjennom gruva, ut fra den forklaring som tidligere er gitt på reduksjonen i kopper (Arnesen et al. 1994).

I forhold til undersøkelsen i 1993 er det ikke mulig å se noen signifikant endring i forurensningstransporten ut og inn i gruva ved undersøkelsen i 1997/98.

Et viktig mål for undersøkelsen var å finne ut hvilke konsekvenser det ville ha for forurensningssituasjonen dersom pumping av vann fra Wallenberg sjakt skulle opphøre. I tabell 12 er endringene i forurensningstransport i en slikt situasjon kvantifisert. Lignende men forholdsvis mindre effekter ville det ha om man sluttet å pumpe opp grunnvann, eller om sigevannet fra nordre tipp som avledes til Gammelgruva, skulle gå direkte i Raubekken.

Tabell 12 Endring av forurensningstransport i Raubekken dersom pumping av vann fra Wallenberg sjakt stopper. Transportøkningen er beregnet ved at vannstrømmene som i dag føres til Wallenberg gruve er tenkt ført til Raubekken.

Område	Periode	Sulfat tonn/år	Jern tonn/år	Kopper tonn/år	Sink tonn/år	Kadmium kg/år
Raubekken	1997/98	3230	114	13	40	95
Inn i Gammelgruva	1997/98	1358	298	20	15	64
Sum uten avledning	1997/98	4588	412	33	55	159
%-vis transportøkning		42	261	154	38	67

Av tabell 12 framgår det at koppertransporten i Raubekken vil bli mer enn to og en halv gang så høy som i dag dersom pumpingen stopper.

4.3 Vannkvalitet i Wallenberg sjakt

Når det gjelder prøvene som er tatt i Wallenberg sjakt har det vært en viss endring i vannkvaliteten. I de øvre lag er dette lite utpreget, på 200 m har kopperkonsentrasjonen avtatt noe siden 1993 og -95. Under ca. 400 m har kopperkonsentrasjonen økt en god del. En forklaring på dette er det vanskelig å gi, men det bør gjennomføres regelmessige prøvetakinger i sjakten f.eks. hvert år i noen år framover, for å finne årsaken til endringen og hvor raskt den skjer.

5. Konklusjoner

Forurensningstransporten i Løkkenområdet er undersøkt i perioden september 1997 - september 1988, Hovedvekten er lagt på å beregne transport av tungmetaller inn i Gammelgruva og tilsvarende transport i vannet som pumpes ut fra Wallenberg sjakt. Det er dessuten viktig å vurdere resultatene i forhold til tidligere undersøkelser, slik at en eventuell trend i ugunstig retning kan registreres så tidlig som mulig.

En sammenlikning av måledata fra den foreliggende undersøkelsen med dem fra 1992/93 viser ingen signifikante endringer. Transport av forurensninger inn og ut av gruva kan ikke sammenliknes direkte, fordi undersøkelsen i 1992/93 strekker seg over en periode på mindre enn ett år. Sesongvariasjoner kan derfor slå forskjellig ut ved de to undersøkelsene. Det er likevel ikke grunn til å tro at det har vært endringer i de aktuelle transportverdiene.

De geopkjemiske prosessene som er årsaken til at "Tiltaksplan for Løkken" virker, er nærmere omtalt i NIVA-rapporten fra 1994 (Arnesen *et al.*). Uten å gå nærmere inn på disse prosessene har denne undersøkelsen bekreftet forklaringen som ble gitt den gang.

Ved gjennomføringen av "Tiltaksplanen for Løkken" i 1992, ble drensvann fra tipper på Løkkensiden ført inn i Gammelgruva, og gruvevann ble pumpet fra 150 m dyp i Wallenberg sjakt. Undersøkelsen viste at tiltaksplanen fortsatt virker etter hensikten. Samtidig som det er vist at vannet som går inn i gruva årlig transporterer like store mengder sulfat, jern, kobber og sink som det gjorde i 1992/93.

Forurensningsmengdene som ble ført inn i gruva var i 1997/8 ca 298 tonn jern, 20 tonn kobber og 15 tonn sink. Tilsvarende mengder som ble pumpet fra Wallenberg sjakt var 61 tonn jern, 1,1 tonn kobber og 9,5 tonn sink.

Dersom pumping av vann fra Wallenberg gruve skulle opphøre, slik at det ble overløp i Gammelgruva, ville antakelig kobbertransporten i Raubekken øke med en faktor på mer enn 2,5.

Selv om det ikke er påvist endringer av betydning i vannkvalitet eller forurensningstranport i Løkkengruva er det likevel grunn til å fortsette et overvåkingsprogram. Tekniske feil og ekstreme værforhold kan f.eks. øke tilførslene til Raubekken og dermed Orkla. De to viktigste punktene for en slik overvåking er utpumpet vann fra Wallenberg sjakt og Raubekken. I tillegg til regelmessig prøvetaking og et kjemisk analyseprogram, er det viktig at data vurderes fortløpende og at de sammenstilles på en faglig forsvarlig måte slik at uregelmessigheter fanges opp.

Vannkvaliteten i gruvevannet har ikke endret seg vesentlig siden 1993. På dyp under 400 m har imidlertid kobberkonsentrasjonen økt fra mindre enn 1 til ca. 25 mg/l siden 1993. Dette bør følges opp med regelmessig prøvetaking i årene framover. Tilstandsformen for det kopperet som finnes i bunnen av Wallenberg sjakt, bør i så fall undersøkes.

6. Referanser

Arnesen, R.T. 1993

Fremtidig utvikling i avgangsdeponier under vann
Hjerkinndammen, Hjerkin, Bjønnaldsdammen, Løkken
NIVA-rapport O-92186, L.nr.: 2962, pp. 49, november 1993

Arnesen, R.T., Christensen, B., Iversen, E.R., Nygaard, K., Slørdahl, A. og Bollingmo, Å. 1994
Vannfylling av Wallenberg gruve.

NIVA-rapport O-92174, L.nr.: 3079, pp. 79, juni 1994.

Arnesen, R.T., Bjerkeng, B. and Iversen, E.R. 1997

Comparison of model predicted and measured copper and zinc concentrations at three Norwegian underwater disposal sites

Fourth Int. Conf. on Acid Rock Drainage, May 31 - June 6, 1997, Vancouver, B.C., Canada

Arnesen, R.T. and Iversen, E.R. 1997

The "Løkken Project" - Flooding a Sulphide Ore Mine

Fourth International Conference on Acid Rock Drainage, Vancouver, B.C., May 1997.

Førland, E. 1993

Det norske meteorologiske institutt

Årsnedbør 1:2 mill.

Nasjonatlas for Norge, karblad 3.1.1, Statens kartverk

Løkken Gruber A/S & Co 1991

Tiltaksplan, Vurdering av forurensningsstatus og alternative tiltak
for å redusere forurensningstilførslene fra grubeområdene.

Løkken Verk, januar 1991

Øren, K., Arnesen, R.T., Iversen, E.R., Knudsen, C.-H., Lundgren, T. og Skjelkvåle, B.L. 1990

Løkken Gruber A/S & Co, Vurdering av foururensningsstatus og
alternative tiltak for å redusere forurensningstilførslene fra gruveområdet.

NIVA-rapport O-88226, L.nr.: 2400, pp. 163, Mai 1990

Vedlegg A.

Enkeltresultater av analyser som er utført på vannprøver som er samlet inn i forbindelse med dette prosjektet.

Tabell 13 Analyseresultater for prøver vann som er pumpet fra dalbunnen (Stallgata),

Dato	pH	Konduk- tivitet mS/m	Sulfat mg/l	Jern mg/l	Kopper mg/l	Sink mg/l	Kadmium mg/l
01.09.97	2,48	533	5398	766	143,0	186,0	0,68
30.09.97	2,47	542	5988	976	117,0	129,0	0,50
15.10.97	2,50	500	5150	799	96,0	92,6	0,37
29.10.97	2,46	539	5389	904	107,0	120,0	0,45
17.11.97	2,46	516	5629	962	101,0	95,3	0,40
02.01.98	2,56	566	5359	814	89,3	90,0	0,36
13.01.98	2,60	536	4940	749	113,0	164,0	0,67
02.02.98	2,48	469	5778	894	100,0	108,0	0,44
16.02.98	2,56	437	4102	630	81,9	91,6	0,36
02.03.98	2,44	532	4521	796	85,0	78,0	0,35
16.03.98	2,51	474	3772	612	88,0	106,0	0,43
31.03.98	2,74	384	2608	442	51,1	43,4	0,18
15.04.98	2,48	545	5150	895	91,9	84,1	0,35
30.04.98	2,50	418	3892	642	58,3	58,3	0,24
18.05.98	2,46	513	5240	844	79,9	79,6	0,34
02.06.98	2,54	478	4491	644	82,3	84,7	0,37
15.06.98	2,50	533	5359	864	95,8	91,4	0,41
14.07.98	2,47	140	5419	875	80,0	83,8	0,32
17.08.98	2,48	494	4731	706	89,4	101,0	0,39
02.09.98	2,35	569	5509	908	84,3	79,7	0,32

Tabell 14 Analyseresultater fra drengroft under nordre tipp ved utløp av rør i Gammelgruva. Stasjon B, 1997 - 98

Dato	pH	Konduk- tivitet mS/m	Sulfat mg/l	Jern mg/l	Kopper mg/l	Sink mg/l	Kadmium mg/l
02.09.97	2,44	416	4243	1030	43,8	23,0	0,13
15.09.97	2,37	478	4377	1047	60,3	34,6	0,09
30.09.97	2,32	517	5356	1357	64,3	33,7	0,05
14.10.97	2,5	374	3144	794	40,4	23,2	0,11
29.10.97	2,45	437	4521	1110	54,4	24,7	0,13
17.11.97	2,41	500	5958	1520	71,3	30,3	0,17
01.12.97	2,39	514	5808	1600	73,1	32,2	0,16
15.12.97	2,52	466	4551	1110	51,1	22,9	0,11
02.01.98	2,42	459	5120	1310	57,3	24,5	0,14
15.01.98	2,48	435	4431	1180	47,9	21,6	0,11
02.02.98	2,43	493	5090	1360	55,0	25,8	0,12
16.02.98	2,45	394	3623	961	43,8	20,1	0,10
27.02.98	2,07	1175	18443	5000	231,0	91,4	0,46
17.03.98	2,21	975	14880	4450	177,0	67,5	0,42
31.03.98	2,39	848	18832	4900	291,0	190,0	0,91
16.04.98	2,03	1110	17246	5020	211,0	87,6	0,90
30.04.98	2,1	960	12964	3020	158,0	75,8	0,39
15.05.98	2,11	1070	19551	5020	187,0	84,9	0,62
29.05.98	2,44	436	4521	1160	53,2	26,0	0,17
16.06.98	2,47	421	3683	904	30,0	21,7	0,15
30.06.98	2,46	328	4132	1020	46,2	23,0	0,13
31.07.98	2,51	794	4341	1080	47,4	24,0	0,16
02.09.98	2,32	491	4970	1170	52,2	29,7	0,14

Tabell 15 Analyseresultater fra Stasjon C, (Drensgrøft i Gammelgruva) 1997 - 98

Dato	pH	Konduk- tivitet mS/m	Sulfat mg/l	Jern mg/l	Kopper mg/l	Sink mg/l	Kadmium mg/l
02.09.97	2,48	859	13090	2199	218	234	0,72
15.09.97	2,44	834	13895	2802	216	178	0,51
30.09.97	2,42	616	14287	3042	222	173	0,49
14.10.97	2,51	778	11647	2380	176	148	0,61
29.10.97	2,42	1287	20599	5280	345	253	0,11
17.11.97	2,49	966	15928	3380	293	240	1,01
01.12.97	2,49	986	15988	3250	301	242	1,05
15.12.97	2,54	1085	15449	2980	273	252	1,00
02.01.98	2,49	904	15299	2790	264	250	0,98
15.01.98	2,51	955	15240	2950	270	245	0,97
02.02.98	2,46	1088	19400	3870	326	265	1,06
16.02.98	2,32	1373	26826	6220	450	290	1,30
27.02.98	2,44	942	14102	3120	241	158	0,74
17.03.98	2,41	1465	25569	6610	412	304	1,33
31.03.98	2,55	1270	10269	3140	126	46,8	0,29
16.04.98	2,41	1186	18114	3240	287	246	0,88
30.04.98	2,53	650	7814	1380	127	110	0,45
15.05.98	2,46	526	10599	1840	155	148	0,65
29.05.98	2,46	778	12186	2260	192	167	0,79
16.06.98	2,55	883	11168	2130	128	157	0,76
30.06.98	2,49	772	11048	1920	176	158	0,68
31.07.98	2,45	431	16647	2140	165	164	0,72
02.09.98	2,43	719	9012	1630	144	125	0,51

Tabell 16 Analyseresultater for vann pumpet fra Wallenberg sjakt 1997 - 98

Dato	pH	Konduk- tivitet mS/m	Sulfat mg/l	Jern mg/l	Kopper mg/l	Sink mg/l	Kadmium mg/l
15.01.97	7,38	99,3	404	0,97	0,05	0,62	<0,005
17.03.97	5,73	300	2015	111	0,08	13,7	0,02
14.05.97	5,57	251	1817	100	4,26	16,3	<0,025
15.07.97	5,69	269	1937	109	3,06	20,6	0,04
30.09.97	5,81	272	2042	136	2,23	20,1	0,045
15.10.97	5,88	274	2120	129	2,82	20,5	0,04
29.10.97	5,93	335	2030	128	2,44	19,9	0,03
17.11.97	5,84	266	2072	131	2,73	20,7	0,04
02.01.98	7,34	92,8	362	0,41	0,09	0,53	<0,005
13.01.98	5,74	280	1731	114	2,00	18,3	0,025
02.02.98	7,36	96,5	416	0,4	0,08	0,56	<0,005
16.02.98	7,42	97,2	428	1,6	0,23	0,87	<0,005
02.03.98	5,81	297	1749	120	1,73	20,4	0,03
16.03.98	5,78	302	1802	126	2,24	21	0,04
31.03.98	5,94	341	1811	125	2,30	19,2	0,03
15.04.98	5,95	263	1578	105	1,71	16,3	0,03
30.04.98	5,89	302	2162	142	2,93	21,6	0,045
18.05.98	5,88	290	1973	131	2,63	20,3	0,04
02.06.98	7,16	84,9	350	0,83	0,11	0,92	<0,005
15.06.98	7,26	78,2	365	1,91	0,26	0,87	<0,005
14.07.98	5,81	207	1548	99,6	1,48	15,5	0,025
17.08.98	5,97	269	1787	110	1,23	16,5	0,026
14.09.98							